

Justus-Liebig-Universität Gießen

Fachbereich 09 Agrarwissenschaften, Ökotropologie und  
Umweltmanagement

Institut für Organischen Landbau

## **Bachelorarbeit**

# **Untersuchungen von Herbizidresistenzen bei Unkräutern in Deutschland**

gestellt von : Prof. Dr. Günter Leithold

eingereicht von : Theodor Hemmerde

Matrikelnummer : 3027169

Gießen, den 13.3.2009

# Inhaltsverzeichnis:

<b>INHALTSVERZEICHNIS:</b> .....	<b>II</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS:</b> .....	<b>IV</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS:</b> .....	<b>V</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung .....	3
<b>2 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN</b> .....	<b>4</b>
2.1 Unkraut und Ungras .....	4
2.2 Herbizid .....	5
2.3 Toleranz, Resistenz, Herbizidresistenz .....	5
2.4 Resistenzentwicklung .....	6
2.5 Resistenztypen .....	8
2.5.1 Die metabolische Resistenz .....	8
2.5.2 Die modifizierte Bindungsstelle (Wirkortresistenz) .....	9
2.5.3 Die Kreuzresistenz .....	10
2.5.4 Die Mehrfachresistenz .....	10
2.6 Scheinresistenz .....	10
2.7 Test auf Resistenz .....	11
<b>3 HERBIZIDE</b> .....	<b>13</b>
3.1 Einführung .....	13
3.2 Hemmung der Photosynthese .....	14
3.3 Hemmung der Aminosäurebildung.....	16
3.4 Hemmung des Fettsäurestoffwechsels .....	17
<b>4 AKTUELLE SITUATION DER HERBIZIDRESISTENZ</b> .....	<b>19</b>
4.1 Einführung .....	19
4.2 Resistenzen bei Ackerwuchsschwanz.....	20
4.3 Resistenzen beim Windhalm.....	23

<b>5 LÖSUNGSSTRATEGIEN.....</b>	<b>25</b>
5.1 Resistenzmanagement .....	25
5.2 Bodenbearbeitung .....	25
5.3 Aussaat .....	27
5.4 Fruchtfolge .....	29
5.5 Integrierter Pflanzenschutz (Schadschwellenprinzip).....	30
5.6 Herbizideinsatz / Herbizidwechsel .....	31
5.7 Vergleich der Lösungsmöglichkeiten und Risikobewertung .....	34
<b>6 SCHLUSSFOLGERUNG .....</b>	<b>36</b>
<b>7 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>38</b>
<b>8 LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>40</b>
<b>9 EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG .....</b>	<b>43</b>

## Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Vergleich zwischen weltweiter Getreideanbaufläche und weltweitem Getreideertrag, ( <a href="http://earthtrends.wri.org/index.php">http://earthtrends.wri.org/index.php</a> , besucht am 9.3.09) .....	2
Abbildung 2: Entstehung von Herbizidresistenzen, (Bayer Crop Science, 2004).....	7
Abbildung 3: Metabolische Resistenz kann Wirkstoffe mit unterschiedlichen Wirkorten aus unterschiedlichen chemischen Klassen betreffen, (Bayer Crop Science, 2004) .....	9
Abbildung 4: Wirkortresistenz ist wirkstoffspezifisch, resistent gegen Produkt B.....	9
Abbildung 5: Unterschiedliche Bindungsstellen sind verantwortlich für das Auftreten von Kreuzresistenzen, Beispiel einer Resistenz gegen PS II-Hemmer, wo eine Mutation am Rezeptor R2 zu einer Resistenz gegen die Herbizide A und B, jedoch nicht gegen Herbizid C führt. QB = Bindungsstelle, R = Rezeptor, (Bayer Crop Science, 2004) .	10
Abbildung 6: Hemmung der Photosynthese, (Bayer KURIER, 2/08).....	15
Abbildung 7: Hemmung der Pigmentsynthese, (Bayer KURIER, 2/08).....	15
Abbildung 8: Hemmung der Aminosäuresynthese, (Bayer KURIER, 2/08) .....	16
Abbildung 9: Angriffspunkt der Glufosinate/ Phosphinothricin (PPT).....	17
Abbildung 10: Hemmung der Fettsäuresynthese, (Bayer KURIER, 2/08) .....	18
Abbildung 11: Die Zunahme von Herbizidresistenzen bei Unkräutern, Anzahl von Arten geordnet nach dem Wirkungsmechanismus des Herbizids, (Bayer Corp Science, 2004).....	19
Abbildung 12: Gebiete mit Ackerfuchsschwanzresistenz (DLG, 2003 ) .....	21
Abbildung 13: Ertragsverluste in dt/ha in Wintergerste in Abhängigkeit der Ackerfuchsschwanzdichte; Gemeinschaftsversuche Baden- Württemberg 1997 - 1999, (Petersen, 2006) .....	22
Abbildung 14: Gebiete mit Windhalmresistenz (DLG, 2003 ) .....	23
Abbildung 15: Pflanzenhöhe in % der unbehandelten Kontrolle von sensiblen (▲) und von resistentem (■) Windhalm einen Monat nach der Applikation eines Sulfonylharnstoffes (68,2 % Thifensulfuronmethyl + 6,8 % Metsulfuron-methyl) mit steigender Dosierung (n = 90 g/ha); Standardfehler der Mittelwerte, (Nicolas & Delabays, 2003).....	24
Abbildung 16: Einfluss des Zeitraums zwischen Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung auf die Verunkrautung in Wintergetreide, (Zwerger & Ammon, 2003).....	28

Abbildung 17: Einfluss des Getreideanteils in der Fruchtfolge auf die Abundanzdynamik von <i>Apera spica-venti</i> , Glaubitz 1985 - 1994. 50 % Getreide: Jährlicher Wechsel von Blattfrüchten und Getreide, 100 % Getreide: Getreidedaueranbau, (Zwerger & Ammon, 2002).....	30
---	----

## Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf das Auftreten und die Dichte von Unkräutern (Pfl./m <sup>2</sup> ) (Bayer CropScience, 2003) .....	26
Tabelle 2: Keimfähigkeit von <i>Alopecurus myosuroides</i> (Ackerfuchsschwanz) aus unterschiedlichen Bodentiefen (Bayer CropScience, 2003).....	27
Tabelle 3: Tabelle zur Klassifizierung und Einteilung von Spritzmitteln und deren Wirkstoffen, (Gehring, 2003) .....	33
Tabelle 4: Mögliche Herbizide, die zur Ackerfuchsschwanzbekämpfung im Getreide zugelassen sind. Einteilung nach Wirkorten und -klassen, (Petersen, 2006) .....	33
Tabelle 5: Herbizidresistenz -Beurteilung des spezifischen Risikos, (Gehring, 2003) .....	35

# 1 Einleitung

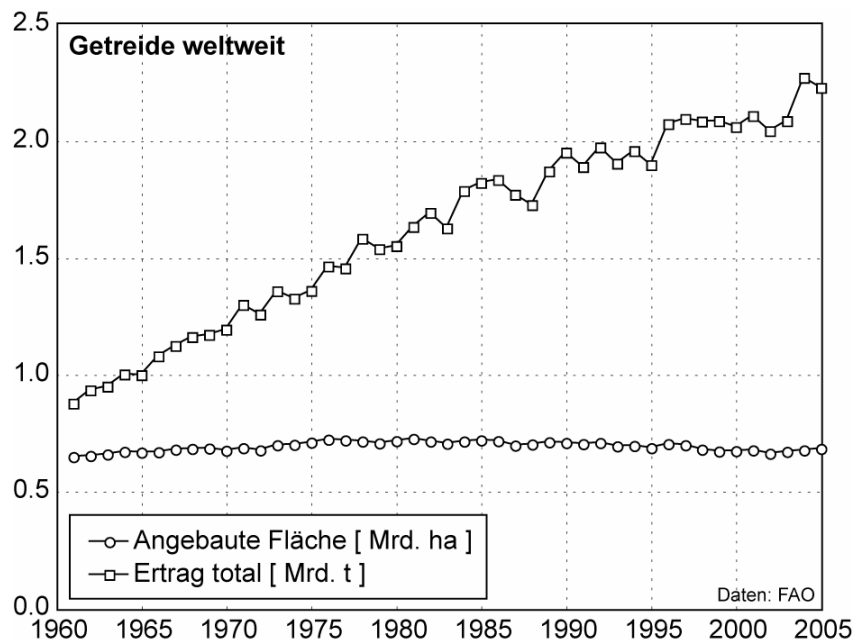
## 1.1 Problemstellung

Die ständig wachsende Nachfrage nach Lebensmitteln hat besonders seit der Industrialisierung um 1900 eine Spezialisierung der landwirtschaftlichen Betriebe zur Folge gehabt. Für die landwirtschaftlichen Betriebe bedeutete dies zunächst eine Ausrichtung der Produktion auf Tierhaltung oder Ackerbau. Außerdem hat neben der Spezialisierung der Betriebe eine Erweiterung und Vergrößerung der Produktionsbereiche stattgefunden. Im Bereich Ackerbau hat die Intensivierung dazu geführt, dass die Erträge pro Hektar um ein Vielfaches gesteigert wurden. Hingegen blieb die Fläche ungefähr gleich.

Auf der Abbildung (Abb. 1) ist zu erkennen, dass seit den 1960er Jahren ein stetiger Zuwachs an Getreideerträgen erfolgte. Die Ertragssteigerung ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen:

- Mechanisierung der Produktionsverfahren
- Verbesserte Düngung
- Züchtung von ertragsstarken Sorten

Ein entscheidender Teil der Ertragssteigerung ist allerdings erst durch Pflanzenschutzmittel wie Fungizide, Insektizide und Herbizide möglich geworden.



**Abbildung 1: Vergleich zwischen weltweiter Getreideanbaufläche und weltweitem Getreideertrag, (<http://earthtrends.wri.org/index.php>, besucht am 9.3.09)**

In dieser Arbeit werden ausschließlich die Herbizide betrachtet. Der Einsatz dieser Pflanzenschutzmittel führt dazu, dass Unkräuter und Ungräser erfolgreich bekämpft werden können. So stellen sie keine Konkurrenz mehr zur Kulturpflanze dar. Zur Zeit liegen die weltweiten Ernteaufälle durch Unkrautbefall bei ca. 9,7 % der potentiellen Ernte (Zwerger & Ammon, 2002).

Der Gebrauch von Pflanzenschutzmitteln, hier speziell betrachtet am Beispiel der Herbizide, hat inzwischen nicht nur positive Effekte auf die Landwirtschaft, sondern auch erhebliche negative Auswirkungen auf die Umwelt. Es haben sich über Jahrzehnte der intensiven Anwendung von Herbiziden bei einigen Unkrautarten Resistenzen gegenüber Wirkungsmitteln und -mechanismen gebildet. Verbreiten sich resistente Unkrautarten weiter und werden keine geeigneten Mittel zur Bekämpfung gefunden, kann der Ernteaufall durch Verunkrautung deutlich ansteigen. Diese Verluste könnten je nach Kultur zwischen 20 und 40 % der möglichen Ernte betragen (Zwerger & Ammon, 2002).

## 1.2 Zielsetzung

In Kapitel 1.1 wurden einige Punkte aufgeführt die sehr beunruhigend sind wie z.B. Ertragsausfälle durch Unkräuter und vermehrtes Auftreten von Resistenzen. Deswegen hat sich der Autor mit dem Thema: „Untersuchungen von Unkrautresistenzen bei Unkräutern in Deutschland“ befasst. Das Thema Herbizidresistenz ist erst seit einigen Jahren in den Blickpunkt der Öffentlichkeit gerückt. Allerdings wird die Gefahr von Mindererträgen und verschlechterter Qualität des Ernteguts vielerorts nicht als beunruhigend angesehen. Zum einen möchte der Autor begangenen Fehler, die zu Resistenzen geführt haben aufzeigen. Es werden Wirkungsweisen einiger Herbizide und verschiedene Resistenztypen aufgelistet und beschrieben. Zum anderen zeigt der Autor mögliche Lösungsmöglichkeiten auf, die helfen können damit sich Resistenz nicht weiter ausbreiten oder erst gar nicht auftreten.

Des weiteren hat der Autor auch ein persönliches Interesse an den Ergebnissen dieser Arbeit, da seine Familie einen für die Region überdurchschnittlich großen Ackerbaubetrieb bewirtschaftet. In der heutigen Zeit wird es zunehmend wichtiger, die eigenen Felder auf einem wirtschaftlich hohen Niveau zu halten und etwaige Ertragsminderungen frühzeitig zu erkennen und Lösungsstrategien zu entwickeln. Aus diesem Grund ist es für den Autor interessant, mögliche Probleme auch in seinem Betrieb aufzudecken, um ein nachhaltiges Wirtschaften für die Zukunft gewährleisten zu können.



## 2 Allgemeine Grundlagen

### 2.1 Unkraut und Ungras

Unkräuter sind definiert als Pflanzen, die gesellschaftsbildend mit Nutzpflanzen zusammen auftreten und mehr schaden als nützen. Der von Unkräutern verursachte Schaden besteht vor allem darin, dass sie den Funktionswert von Flächen beeinträchtigen. Bei den betroffenen Flächen kann es sich sowohl um Ackerflächen, Grünland, stillgelegte Flächen, forstwirtschaftlich genutzte Flächen als auch um Wasserflächen, Rasenflächen aller Art, befestigte Flächen, Böschungen oder gar geschützte Flächen handeln (BMELV, 2009).

Art und Ausmaß eines Schadens durch Unkräuter können sehr unterschiedlich sein. Auf Ackerflächen konkurrieren Unkräuter mit den Kulturpflanzen um begrenzt verfügbare Wachstumsfaktoren wie Wasser, Nährstoffe, Licht und Standraum. Darüber hinaus können Unkräuter die Pflege- und Erntearbeiten behindern, Krankheiten und Schädlinge übertragen sowie die Qualität der Ernteprodukte mindern. Als Unkräuter treten dabei auch Kulturpflanzen auf, zum Beispiel Ausfallraps oder -getreide sowie Durchwuchskartoffeln, die in den Folgekulturen teilweise in bemerkenswert hohen Dichten vorkommen können (BMELV, 2009).

Pflanzen werden folglich als Unkraut bezeichnet, wenn sie

- mit einer gezielt angebauten Nutzpflanze in Konkurrenz um Wachstumsfaktoren stehen, so dass die Nutzpflanze nicht den erwünschten Ertrag erreicht;
- die Bewirtschaftung einer Fläche erschweren, indem sie z.B. in das Erntegut geraten und dieses verunreinigen;
- eine massenhafte Verbreitung aufweisen (durch Samenflug, extrem lange Wurzelgeflechte, Verdrängung von Konkurrenten) und somit die Gefahr besteht, dass sie auf zu schützende Flächen übersiedeln;
- wenn sie durch ihre Giftwirkung den Ertrag einer Fläche unbrauchbar machen (Beispiel Herbstzeitlose in Heu);
- wenn sie das ästhetische Empfinden eines Menschen stören, zum Beispiel in Ziergärten, Parks, auf Rasenflächen oder bewuchsfrei zu haltenden Flächen.

Abschließend ist anzumerken, dass der Begriff „Unkraut“ auch die Kategorie der Gräser mit einschließt. Der Unterschied von Kräutern und Gräsern liegt darin, dass Kräuter dikotyle, also zweikeimblättrige, krautige Pflanzen sind. Gräser hingegen sind einkeimblättrig (= monokotyl).

## **2.2 Herbizid**

Das Wort „Herbizid“ stammt von dem lateinischen *herba* = Kraut oder Gras und vom lateinischen *caedere* = töten ab. Herbizide sind Substanzen, die nicht erwünschte Pflanzen abtöten sollen, im Volksmund auch Unkrautvernichtungsmittel genannt. In der Literatur wird zwischen selektiven Herbiziden, die gegen bestimmte Pflanzen wirken, und Totalherbiziden, die gegen alle Pflanzen wirken, unterschieden (Koch & Harle, 1970).

## **2.3 Toleranz, Resistenz, Herbizidresistenz**

### **Toleranz:**

In der Literatur ist dieser Begriff sehr häufig anzutreffen. Einerseits ist damit die Toleranz von Kulturpflanzen gegenüber Herbiziden gemeint, da diese eine Behandlung mit Herbiziden tolerieren müssen, um uneingeschränkt wachsen zu können. Andererseits bezieht er sich auf die Toleranz bei Unkräutern gegen Herbizide (Zwerger & Ammon, 2002). Der Übergang zu einer schwachen Resistenz ist nur sehr schwer abzugrenzen (Hock, 1995). Bei Unkräutern bedeutet dies, dass diese die normale Aufwandmenge des Herbizides überleben. Allerdings kann bei diesen Pflanzen die doppelte Aufwandmenge Wirkung zeigen.

Die Definition von Toleranz bei Pflanzen nach Hallmann, Quadt - Hallmann & von Tiedemann, 2007, ist die Eigenschaft von Pflanzen, die von Stressfaktoren ausgelösten Schäden nahezu vollständig zu kompensieren, so dass keine Ertragsausfälle entstehen.

**Resistenz:**

Allgemein versteht man unter dem Begriff „Resistenz“ die Widerstandskraft eines Organismus gegen chemische, physikalische oder biologische Einflüsse. Es findet keine Beeinflussung durch Stressfaktoren statt (Hallmann, Quadts - Hallmann & von Tiedemann, 2007).

**Herbizidresistenz:**

Herbizidresistenz ist definiert nach dem Herbizid Resistance Action Committee (HRAC) als die innerhalb einer bestimmten Unkrautpopulation natürlich vorkommende, vererbte Fähigkeit einiger Biotypen, Herbizidbehandlungen zu überleben, die unter normalen Umständen diese Population wirksam bekämpfen würden (Bayer Crop Science, 2004).

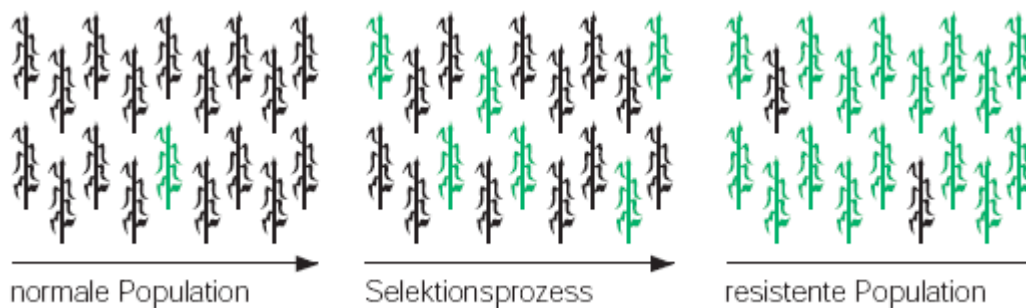
## **2.4 Resistenzentwicklung**

Folgende Abbildung (Abb. 2) zeigt, wie sich Herbizidresistenzen entwickeln können. Dazu ist zunächst festzustellen, dass sich in den letzten Jahren die Fruchtfolgen dahingehend verändert haben, dass häufig nur die rentabelsten Kulturen angebaut werden. Die Begrenzung auf nur ein oder zwei Kulturarten und die verstärkte Anwendung von Herbiziden haben die Entwicklung herbizidresistenter Unkräuter gefördert (Bayer Crop Science, 2004).

Eine Verschiebung innerhalb einer Unkrautpopulation hin zu resistenten Pflanzen beginnt stets mit einer kleinen Anzahl oder gar mit einzelnen Individuen, die in jeder Population natürlich vorkommen und resistent gegen die eingesetzten Mittel sind. (Abb. 2) Vor allem gilt dies für Pflanzen mit einer hohen Reproduktionsrate (Bayer Crop Science, 2004).

Durch wiederholte Anwendungen von Herbiziden mit gleichen oder ähnlichen Wirkungsmechanismen kommt es zu einem Selektionsdruck auf die Unkräuter. Dieser Selektionsdruck begünstigt das Überleben entsprechend angepasster (resistenter) Individuen. Dies gilt nahezu für alle im Gebrauch befindlichen Wirkstoffgruppen. Wird keine Strategie zur Abwendung oder Unterbrechung dieses Selektionsprozesses

durchgeführt, können resistente Individuen innerhalb einer Population im Lauf der Zeit vorherrschend werden. Daraus entstehen die ersten Bekämpfungsprobleme und schließlich liegt eine resistente Population vor (Abb. 2) (Bayer Crop Science, 2004).



**Abbildung 2:** Entstehung von Herbizidresistenzen, (Bayer Crop Science, 2004)

Die Geschwindigkeit der Resistenzentwicklung (= die Resistenzdynamik) hängt von mehreren Faktoren ab, etwa von der Häufigkeit resistenter Individuen in der ursprünglichen Population, von der Häufigkeit und Wirksamkeit des verwendeten Herbizids, von der Unkrautdichte, vom Umfang des Samenvorrats im Boden, von dem Vermehrungspotential und Keimverhalten der Unkräuter sowie von der Fitness und Vitalität der resistenten Stämme (Bayer Crop Science, 2004).

Die so genannten Faktoren der Resistenzdynamik lassen sich unter folgenden Punkten zusammenfassen: (Mittnacht, 2009)

- Biologisch:
  - Ausgangsfrequenz resistenter Biotypen (Samenpotential)
  - Mittlere Lebensdauer der Unkrautsamen
  - Fitness resistenter Formen gegenüber „normalen“ Biotypen
  - Vererbungsmodus
- Produktionstechnisch:
  - Fruchtfolge
  - Bodenbearbeitung
  - Saattermin
  - Herbizideinsatz, Intensität des Herbizideinsatzes
  - Alternative Bekämpfungstechnik

Ob also an einem bestimmten Standort bzw. in einer Region herbizidresistente Unkräuter auftreten, ist von verschiedenen biologischen und produktionstechnischen Bedingungen abhängig. Beim Unkraut selbst kommt es, wie schon angesprochen, auf die natürlich vorhandene Ausgangsfrequenz resistenter Biotypen in der Population bzw. im Samenpotential an. Die genetische Diversität oder Biodiversität ist hierbei für den bereits ohne Herbizideinsatz natürlich vorhandenen Anteil an widerstandsfähigen Pflanzen maßgeblich (Mittnacht, 2009).

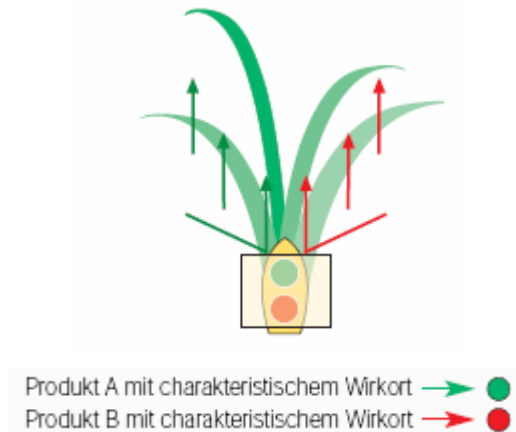
Wie oben erwähnt, sind mit einem entsprechenden Selektionsdruck der Vererbungsmodus, die Samenlebensdauer und die Fitness der resistenten Typen für die Geschwindigkeit der Resistenzentwicklung ausschlaggebend. Im „Vorteil“ sind dabei Arten mit einem höheren Fremdbefruchtungsanteil und relativ kurzer Samenlebensdauer. Zusätzlich günstig ist natürlich eine unveränderte Entwicklungsleistung der resistenten Typen im Vergleich zu den herbizidempfindlichen Pflanzen. Diese biologische Ausgangssituation kann schließlich noch von den spezifischen Produktionstechniken „belastet“ werden, wie etwa durch einen einseitigen Herbizideinsatz mit gleichen Wirkstoffen bzw. Präparaten, die den selben biochemischen Wirkungsmechanismus aufweisen. Weiter sind einseitige Fruchtfolgen (hoher Wintergetreideanteil), pfluglose Bodenbearbeitung, sehr frühe Saattermine bei Wintergetreide und eine ausschließlich chemische Unkrautbekämpfung besonders förderlich für eine rasche Selektion von herbizidresistenten Unkräutern und Ungräsern (Mittnacht, 2009).

## **2.5 Resistenztypen**

### **2.5.1 Die metabolische Resistenz**

Diese Form der Resistenz bedeutet, dass eine unempfindliche, also resistente Pflanze, einen herbizidwirkenden Stoff schneller zu einem nicht phytotoxischen Metaboliten (für Pflanzen nicht giftige Stoffwechselprodukte) abbauen kann als eine nicht resistente Pflanze. Folglich können die Herbizide nicht mehr in der ursprünglichen Dosis wirken. Eine höhere Aufwandmenge kann allerdings bis zu einem gewissen Punkt die Minderwirkung ausgleichen. Zum Beispiel liegt eine gewisse Form der Resistenz gegen ACCase-Hemmer bei *Alopecurus myosuroides* (Ackerfuchsschwanz) und *Lolium rigidum*

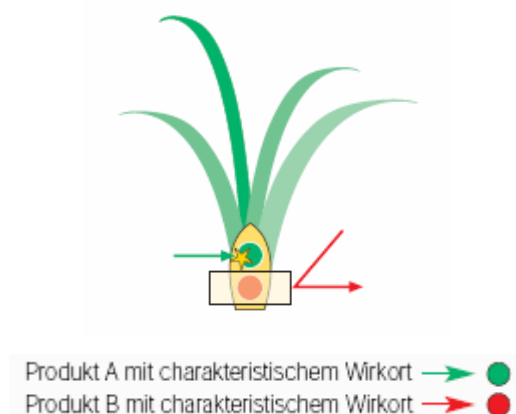
(Steifes Weidelgras) vor. Weiterhin kann metabolische Resistenz Wirkstoffe mit unterschiedlichen Wirkorten aus unterschiedlichen chemischen Klassen betreffen (Abb. 3) (Bayer Crop Science, 2004).



**Abbildung 3: Metabolische Resistenz kann Wirkstoffe mit unterschiedlichen Wirkorten aus unterschiedlichen chemischen Klassen betreffen, (Bayer Crop Science, 2004)**

### 2.5.2 Die modifizierte Bindungsstelle (Wirkortresistenz)

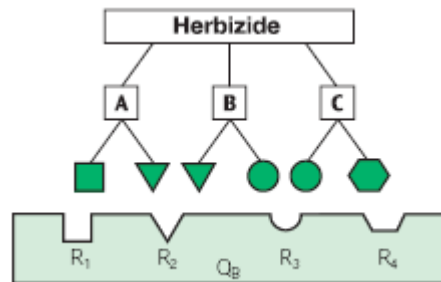
Eine modifizierte Bindungsstelle als Auslöser für eine Herbizidresistenz bedeutet, dass ein Wirkstoff nicht mehr an seiner bisherigen Wirkungsstelle „andocken“ kann (Abb. 4). Bei solchen Pflanzen ist das Zielenzym am Wirkort genetisch bedingt so verändert, dass die Wirkstoffe nicht aufgenommen und selbst hohe Aufwandmengen nicht aktiv werden (Mittnacht, 2008). Dies entsteht oft durch eine molekulare Strukturveränderung des Rezeptors (Bayer Crop Science, 2004).



**Abbildung 4: Wirkortresistenz ist wirkstoffspezifisch, resistent gegen Produkt B aber nicht gegen Produkt A, (Bayer Crop Science, 2004)**

### 2.5.3 Die Kreuzresistenz

Es handelt sich bei der Kreuzresistenz um eine Resistenz gegen zwei oder mehr Herbizide, die sich aus der Anwesenheit eines einzigen Resistenzmechanismus ergibt (Abb. 5) (Bayer Crop Science, 2004).



**Abbildung 5: Unterschiedliche Bindungsstellen sind verantwortlich für das Auftreten von Kreuzresistenzen, Beispiel einer Resistenz gegen PS II-Hemmer, wo eine Mutation am Rezeptor R2 zu einer Resistenz gegen die Herbizide A und B, jedoch nicht gegen Herbizid C führt. QB = Bindungsstelle, R = Rezeptor, (Bayer Crop Science, 2004)**

### 2.5.4 Die Mehrfachresistenz

Die Mehrfachresistenz ist eine Resistenz der Unkräuter und Ungräser gegen mehrere Herbizide. Die Resistenz ergibt sich aus der Anwesenheit von zwei oder mehreren Resistenzmechanismen in ein- und derselben Pflanze (Bayer Crop Science, 2004).

## 2.6 Scheinresistenz

Auch wenn es immer öfter zu unempfindlichen Unkrautpopulationen kommt, sollten nicht abgestorbene Pflanzen keineswegs sofort unter Generalverdacht gestellt werden. Es muss bedacht werden, dass verschiedenste Ursachen für ein mögliches Überleben der Unkräuter verantwortlich sein können.

Eine mögliche Fehlerquelle könnte z.B. das nicht korrekte Anrühren der Spritzbrühe sein. Es kann passieren, dass Rechenfehler gemacht werden und somit die Dosierung nicht zum Abtöten der Pflanzen ausreicht. Außerdem ist beim Spritzen der Wind stets eine

Fehlerquelle, die berücksichtigt werden muss. Bei zu starker Abdrift können Bereiche des Feldes gar nicht oder nur wenig mit dem Spritzmittel in Berührung kommen und den Unkräutern in diesen Bereichen ein Überleben ermöglichen. Des Weiteren ist ungenaues Fahren eine Ursache dafür, dass Streifen im Feld oder Ackerränder nicht mit Spritzmittel benetzt werden. Fehlerquellen könnten aber auch zu feuchte Witterung oder das Entwicklungsstadium der Unkräuter sein (Zwerger & Ammon, 2002).

Diese Punkte sollten erst ausgeschlossen werden, bevor die zuständige Behörde für einen Test auf Resistenz hinzugezogen wird (Zwerger & Ammon, 2002).

## **2.7 Test auf Resistenz**

Um zu klären, ob eine Unkrautpopulation resistent ist, wurden standardisierte Tests entwickelt. Dazu werden zunächst reife und keimfähige Samen aus den verdächtigten Unkrautpopulationen manuell entnommen. Im nächsten Schritt werden diese entspelzt und unter kontrollierten Klimabedingungen zum Keimen angeregt.

An den gekeimten Pflanzen wird die einfach und doppelt zugelassene Aufwandmenge des womöglich unwirksamen Herbizids geprüft. Der Test endet nach 21 Tagen. Zur Kontrolle wird außerdem eine Referenzherkunft getestet, die empfindlich auf das Herbizid reagiert. Eine Resistenz liegt vor, wenn durch die Behandlung mit der doppelten Dosis keine signifikante Reduzierung der Frischmasse erreicht wird (BMELV, 2009).

Aus diesen Tests ergibt sich der so genannte Resistenzfaktor. An diesem ist ersichtlich, wie hoch die Aufwandmenge an Spritzmittel in Bezug auf die normale Aufwandmenge nötig wäre, um das Unkraut abzutöten. Allerdings ist der Wert sehr unterschiedlich und hat ein breites Spektrum. Bei der methabolischen Resistenz liegt dieser zwischen:

**2 und 10**

Dieser Wert ist bei dieser Art von Resistenz so niedrig, da eine Pflanze nur bis zu einem gewissen Grad in der Lage ist, ein Herbizid zu ungiftigen Substanzen abzubauen.



Bei der Wirkortresistenz liegt der Wert allerdings wesentlich höher, nämlich zwischen:

**10 und 1000**

Der Wert ist deshalb deutlich höher, da es keine Bindungsstelle für das Herbizid in der Pflanze gibt. Eine Wirkung tritt trotzdem ein, weil bei einer extremen Aufwandmenge (das 10 bis 1000 fache der normalen Dosierung) Sekundärwirkungen auftreten können, die die Pflanze nicht mehr kompensieren kann (Hock, Fedtke & Schmidt, 1995).

## 3 Herbizide

### 3.1 Einführung

Die Gruppe der Herbizide umfasst einen großen Bereich der Pflanzenschutzmittel. Jedes Jahr werden weltweit mehrere zehntausend neue Wirkstoffe entwickelt. Es dauert allerdings viele Jahre und bedarf einer großen Anzahl an Tests, bis ein Herbizid oder Pflanzenschutzmittel für den allgemeinen Gebrauch zugelassen ist.

Aufgrund dieser hohen Anforderungen gibt es lediglich eine überschaubare Anzahl von ca. 200 verschiedenen Wirkstoffen weltweit. Erschwerend kommt hinzu, dass die Wirkstoffe nur auf ca. 20 unterschiedlichen Wirkungsweisen beruhen. Wenn dann noch berücksichtigt wird, dass nicht jedes Herbizid gleich gut gegen ein Unkraut wirkt und auch Kulturpflanzen nur tolerant gegen bestimmte Präparate sind, schränkt sich die Zahl der Wirkstoffe nochmals erheblich ein (Zwerger & Ammom, 2002).

Die geringe Anzahl der Wirkstoffe allein stellt aber noch kein Problem in Bezug auf die Bildung von Resistenzen bei Unkräutern dar, denn es gibt zur Bekämpfung einer bestimmten Unkrautart noch genügend wirksame Herbizide. Trotzdem werden einige Herbizide dank guter Leistungen in den vergangenen Jahren nahezu ausschließlich zur Daueranwendung eingesetzt. Ein Beispiel hierfür ist das Spritzmittel Isoproturon, in der Praxis besser bekannt als IPU. Dieses Präparat ist über viele Jahre sehr intensiv zur Ackerfuchsschwanzbekämpfung im Weizen eingesetzt worden. Wie in Kapitel 2 beschrieben, können bei dieser intensiven Anwendung einige Unkrautpopulationen über die Zeit eine Toleranz und später Resistenz ausbilden (Mittnacht, 2007).

Allgemein beruhen viele Wirkungsmechanismen darauf, dass sich das Herbizid an ein Protein bindet und somit einen für die Pflanze notwendigen Stoffwechselprozess stört. Das Protein ist oft ein Enzym, das die jeweilige biochemische Reaktion im Stoffwechsel steuert. Es können aber auch strukturelle und regulatorische Bindestellen gehemmt werden. Herbizide besitzen in der Regel einen Angriffspunkt, mit dem sie in den pflanzlichen Stoffwechsel eingreifen = Hauptwirkungsmechanismus (Heitefuss, 2000).

Die Hauptwirkungsmechanismen sind ausschlaggebend für die Gruppeneinteilung der Herbizide. Der Autor befasst sich mit folgenden Wirkungsmechanismen, da diese 60 % aller bekannten Resistenzbildungen ausmachen:

- **Hemmung der Photosynthese**
- **Hemmung der Aminosäuresynthese**
- **Hemmung der Fettsäuresynthese**

Weitere Hauptwirkmechanismen sind:

**Hemmung der Pigmentsynthese**

**Hemmung der Zellteilung**

### **3.2 Hemmung der Photosynthese**

Die Gruppe der Photosynthesehemmer ist eine der bekanntesten und größten unter den Herbiziden. Sie ist auch unter anderen Namen bekannt z.B. als Phenylharnstoffe oder auch als Triazine, da diese die häufigsten Wirkstoffe innerhalb dieser Gruppe sind. Auch IPU gehört zur Gruppe der Phenylharnstoffe.

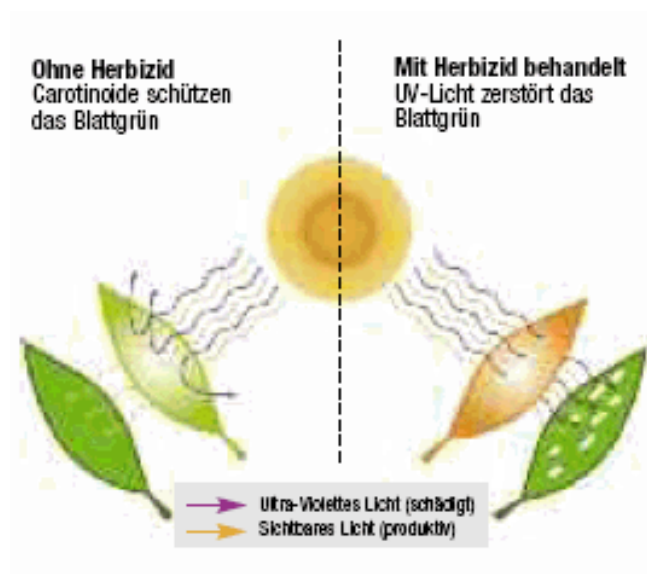
Die Photosynthese ist ein zentraler Stoffwechselprozess der Pflanzen und eignet sich daher besonders als Angriffspunkt für Herbizide. Die Hemmung der Photosynthese hat fatale Folgen für die Schadpflanze: Die Energie des Lichts kann von der Pflanzenzelle nicht mehr gespeichert werden und die Pflanze „verhungert“ (Abb. 6).

Die Herbizide dieser Gruppe werden vor allem über die Wurzeln der behandelten Unkrautpflanzen aufgenommen. Es folgt ein Transport in die oberen Pflanzenteile (Blätter), sodass es zu einer Anreicherung in der Pflanze kommt. Der Wirkstoff hemmt die Photosynthese der Pflanzen, indem er den Elektronentransport zwischen Photosystem II und Plastochinon inhibiert. Somit gelangen die Elektronen aus der Wasserspaltung nicht zum Photosystem I (P700). Damit wird die Elektronentransportkette unterbrochen. In Abbildung 6 ist schematisch dargestellt wo der Angriffspunkt der die Photosynthese hemmenden Herbizide ist (Bayer KURIER, 02/08).



**Abbildung 6: Hemmung der Photosynthese, (Bayer KURIER, 2/08)**

Herbizide, die in die Photosynthese eingreifen, haben oft noch weitere Funktionen, die das Umfeld der Photosynthese betreffen. Es wird z.B. die Bildung von wichtigen Verbindungen (Pigmente) gehemmt. Pigmente sind biologische Farbträger wie Chlorophylle, Cytochrome und Carotinoide. Die Carotinoide haben eine Schutzfunktion innerhalb der Photosynthese und genau diese wird von den Herbiziden ausgeschaltet. Zu der Gruppe der Carotinoid blockierenden Substanzen gehören Boden- und Blattherbizide, die im frühen Stadium gegen Monokotyle und Dikotyle im Herbst bzw. im Frühjahr eingesetzt werden können (Abb. 7) (Bayer KURIER, 02/08).

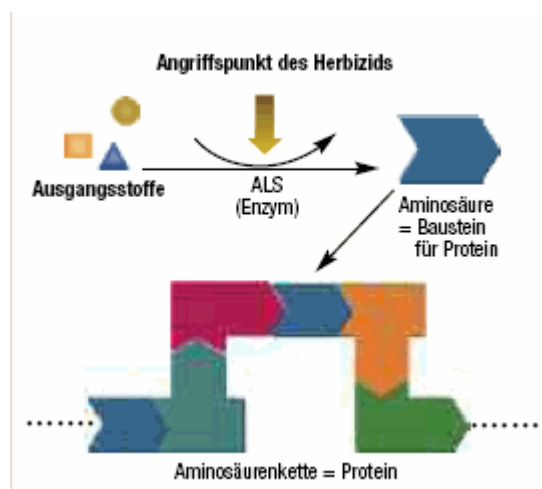


**Abbildung 7: Hemmung der Pigmentsynthese, (Bayer KURIER, 2/08)**

### 3.3 Hemmung der Aminosäurebildung

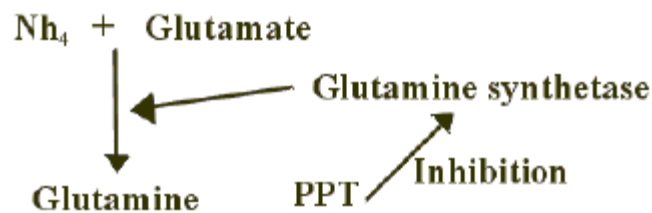
Wie bei der ersten Gruppe der Herbizide, die der Autor vorgestellt hat, ist es auch hier nicht einfach, einen Namen oder einen zentralen Wirkstoff zu nennen. In der Regel wird diese Gruppe als Acetolactat-Synthase-Hemmer (ALS-Hemmer) bezeichnet, obwohl dies nur einer von vielen Wirkorten dieser Gruppe ist. Ein weiterer Name, der häufig genannt wird, ist Sulfonylharnstoff, das ist der Wirkstoff in den ALS-Hemmern (Bayer KURIER, 02/08).

Die Herbizide der ALS-Hemmer-Gruppe sind weit verbreitet. Sie greifen in die Synthese von Aminosäuren ein und stören damit den Protein- oder Enzymaufbau. Dabei werden drei wichtige Enzyme ausgeschaltet: die Glutaminsynthetase, die 5-EPSPS-Synthase und die ALS. Das zuletzt genannte Enzym ist der Angriffsort sowohl der Sulfonylharnstoffe als auch der Imidazolinone (Abb. 8). Durch die Hemmung des Enzyms Acetolactat-Synthase wird die Produktion der essentiellen Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin eingestellt (Heitefuss, 2000).



**Abbildung 8: Hemmung der Aminosäuresynthese, (Bayer KURIER, 2/08)**

Ein weiterer Wirkungsmechanismus ist das Ausschalten der Glutaminsynthetase, was zur Folge hat, dass Ammonium und Glutamat nicht mehr zu Glutamin umgewandelt werden (Abb. 9). Dadurch wird die Pflanze auf zweierlei Art geschädigt. Zum einen dadurch, dass sich Ammoniak im Blatt der Pflanze anreichert und dort eine giftige Wirkung auf die Pflanze entwickelt. Zum anderen ist Glutamin eine Aminosäure und damit ein essentieller Baustein für Proteine und Enzyme (Zwerger & Ammon 2002).



**Abbildung 9: Angriffspunkt der Glufosinate/ Phosphinothricin (PPT) bei der Glutaminsynthese (Jens, 2002)**

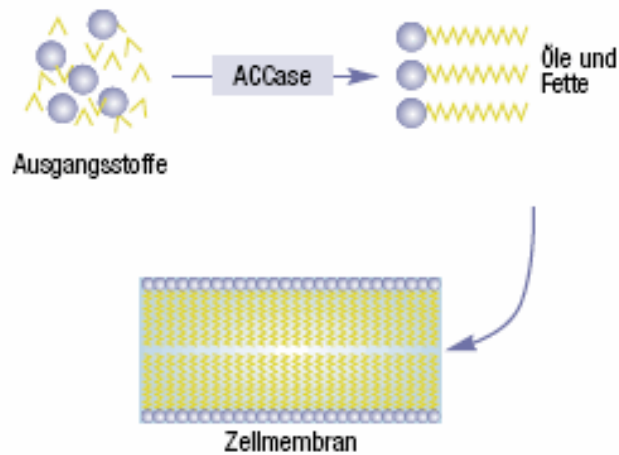
Hier kommt zwangsläufig die Frage auf, warum sich bei diesem raffinierten Wirkmechanismus Resistenzen entwickeln konnten. In der Frage steckt aber bereits die Antwort auf das Phänomen. Die Wirkung dieser Herbizide ist extrem spezifisch und die Wirkstoffe binden sich nur an ganz spezielle Bindungsstellen in der Pflanze. Dadurch reichen schon kleine Veränderungen an den Enzymen, die gehemmt werden sollen, um das Herbizid unwirksam werden zu lassen. Das Gleiche gilt auch für den Fall, dass das Enzym im Herbizid von der Pflanze verändert wird, bevor es überhaupt zum Wirkort gelangt. So ist es z.B. einigen Pflanzen möglich, Glufosinat so umzubauen, dass es seine Wirkung verliert (Jens, 2002).

### 3.4 Hemmung des Fettsäurestoffwechsels

Die dritte Gruppe sind die Herbizide, die den Fettsäurestoffwechsel der Pflanzen beeinflussen. Diese Gruppe ist besser unter dem Namen ACCase-Hemmer (Acetyl-CoA-Carboxylase-Hemmer) bekannt. Zwei der wichtigsten Untergruppen bzw. Wirkstoffe sind die FOPs (Fenoxaprop) und die DIMs (Diindolylmethan). Die Anzahl der Resistenzen gegenüber dieser Gruppe von Herbiziden ist über die Jahre stetig gestiegen und rangiert auf dem 3. Platz der Resistenzbildungen bei Unkräutern (Hock, 1995).

Beispiele sind die Acyloxyphenoxypropionsäuren und die Cyclohexenone. Diese greifen in die Biosynthese der Fettsäuren ein, indem sie das Enzym Acetyl-CoA-Carboxylase hemmen. Dieses Enzym ist entscheidend dafür, dass Acetyl-CoA in Malonyl-CoA umgewandelt wird. Malonyl-CoA ist ein bedeutender Baustein für die Fettsäuresynthese. Diese wiederum spielt eine entscheidende Rolle beim Aufbau der Zellmembran (Abb. 10). Eine Störung im Stoffwechsel durch Herbizide führt zu einer dünneren Kutikula und damit

zu einer gestörten Wasseraufnahme, was charakteristisch für die FOPs und DIMs ist. Des Weiteren nimmt durch die Schädigung der Zellmembran der Chlorophyllgehalt ab, wodurch die Photosyntheseleistung eingeschränkt wird und damit wiederum auch die Energie-Bindung (Hock, 1995).



**Abbildung 10: Hemmung der Fettsäuresynthese, (Bayer KURIER, 2/08)**

## 4 Aktuelle Situation der Herbizidresistenz

### 4.1 Einführung

Zunächst ist weltweit gesehen die Entstehung einer Resistenz gegen Herbizide ein natürlicher Prozess, der es Pflanzen ermöglicht, sich auf ihre Umweltbedingungen einstellen zu können und so ihr Überleben zu sichern. Wie schon beschrieben, stellt der Herbizideinsatz folglich nichts anderes als einen Selektionsfaktor für die Unkräuter dar, der wie etwa Trockenheit oder andere Standortbedingungen die Pflanzenentwicklung beeinträchtigen und zu neuen Genotypen führen kann (Gehring, 2008).

Für die Praxis bedeutet dies, dass mit zunehmender Einsatzintensität von Herbiziden auch der Selektionsdruck auf widerstandsfähige Biotypen zunimmt. Mit der Entwicklung und dem verstärkten Einsatz verschiedener Herbizidwirkstoffgruppen ist unweigerlich die Selektion herbizidresistenter Unkrautarten verbunden. Am stärksten sind hiervon Wirkstoffe aus der Gruppe der Triazine, der Acetolactat-Synthase-Inhibitoren (ALS-Hemmer) und der ACCase-Hemmer betroffen, siehe dazu Abbildung 11. Die Entwicklung der letzten 10 bis 15 Jahre zeigt, dass praktisch alle herbizidwirkenden Stoffe bzw. deren Wirkungsmechanismen resistente Unkräuter hervorbringen können (Gehring, 2009).

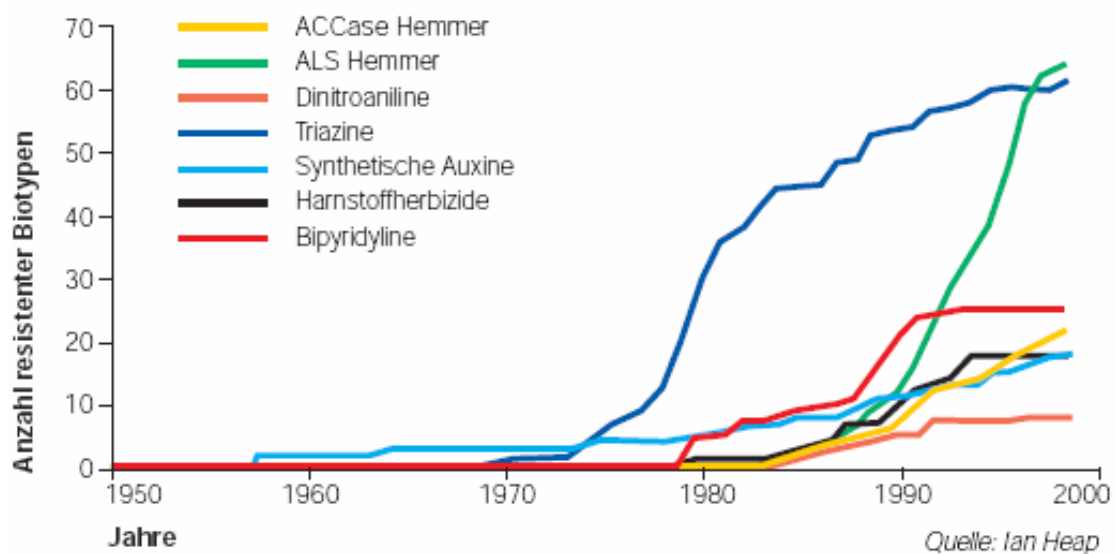


Abbildung 11: Die Zunahme von Herbizidresistenzen bei Unkräutern, Anzahl von Arten geordnet nach dem Wirkungsmechanismus des Herbizids, (Bayer Corp Science, 2004)



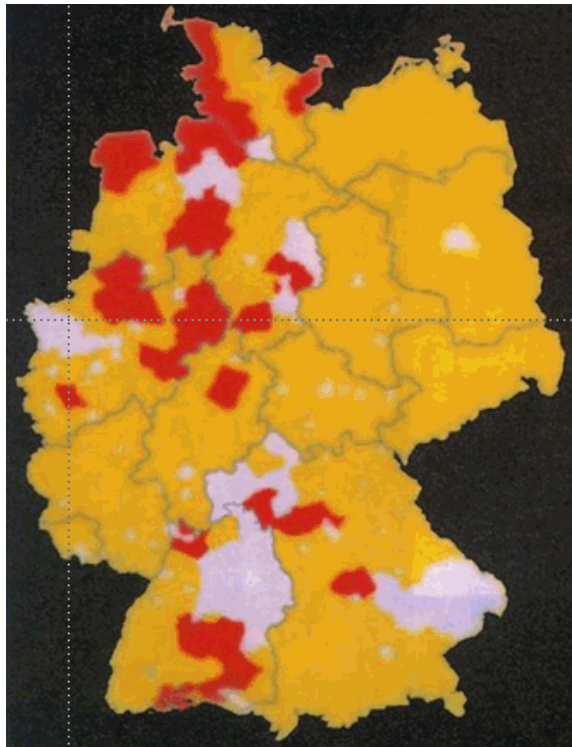
Es stellt sich die Frage, um welche Resistenzmechanismen es sich bei den Unkräutern handelt. Besonders bei Gramineen (Süßgräser) liegt keine Veränderung am Wirkungsort vor, es handelt sich häufig vielmehr um eine metabolische Resistenz (Kapitel 2.5). Dies ist etwa der Fall bei Steifem Lolch (*Lolium rigidum*) und bei Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*). Diese zwei Grasarten haben eine metabolische Kreuzresistenz gegen verschiedene Herbizide entwickelt. Die Dachtrespe (*Bromus tectorum* L.) wiederum hat verschiedene Resistenzmechanismen hervorgebracht: Veränderung am Wirkungsort und metabolische Resistenz (Bohren, Mermillod & Delabays, 2006).

In den letzten Jahren haben sich herbizidresistente Unkrautpopulationen auf landwirtschaftlichen Kulturf Flächen immer stärker entwickelt und erschweren damit die Bekämpfung der unerwünschten Begleitkulturen. So sind europaweit etwa 150, weltweit schon über 200 resistente Biotypen bekannt. Davon zählen etwa 100 zu den monokotylen und 130 zu den dikotylen Unkräutern. Wirtschaftlich bedeutsame Resistenzrisiken bestehen momentan hauptsächlich bei Ackerfuchsschwanz, weshalb in diesem Kapitel verstärkt auf dieses Unkraut eingegangen wird. Neuerdings nimmt allerdings auch die Bedeutung von resistentem Windhalm immer mehr zu (Mittnacht, 2009).

## **4.2 Resistenzen bei Ackerfuchsschwanz**

Aufgrund von speziellen Produktionsbedingungen (z.B. Monoweizen oder Septembersaaten) und den gleichzeitig optimalen Standortbedingungen für Ackerfuchsschwanz, z. B. in der norddeutschen Küstenmarsch, ist in solchen Gebieten der wirtschaftliche Getreideanbau gefährdet (Gehring, 2008).

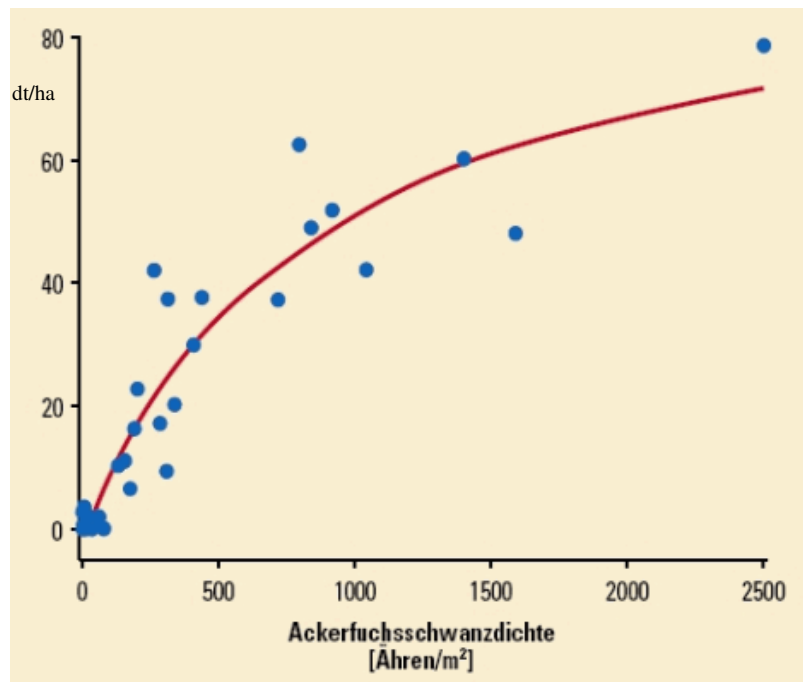
In Süddeutschland ist die Situation bezüglich der Ackerfuchsschwanzresistenzen in den Getreideanbauregionen hingegen überschaubar. Laufende Beobachtungen und Untersuchungen zeigen jedoch deutlich, dass die Resistenzprobleme vor allem in den Hauptverbreitungsgebieten von Ackerfuchsschwanz, wie z.B. in Hohenlohe, auf der Ostalb, im Zollernalbkreis, im Raum Rottweil/Donaueschingen und regional auch in Oberschwaben zunehmend größer werden (Abb. 12) (Mittnacht 2009).



**Abbildung 12: Gebiete mit Ackerfuchsschwanzresistenz (DLG, 2003 )**

Die Schadwirkungen, die von Ackerfuchsschwanz ausgehen können, sind vielfältig. Zunächst ist hier die Konkurrenz um die besagten Wachstumsfaktoren zu nennen, allerdings verschieben sich je nach betrachteter Kulturart die Konkurrenzverhältnisse zwischen Unkraut und angebauter Kultur. Bei Wintergerste oder -weizen kann bei einem Besatz von 100 Ackerfuchsschwanzpflanzen pro m<sup>2</sup> von einem Ertragsverlust von 3 bis 6 dt/ha ausgegangen werden (Petersen, 2006).

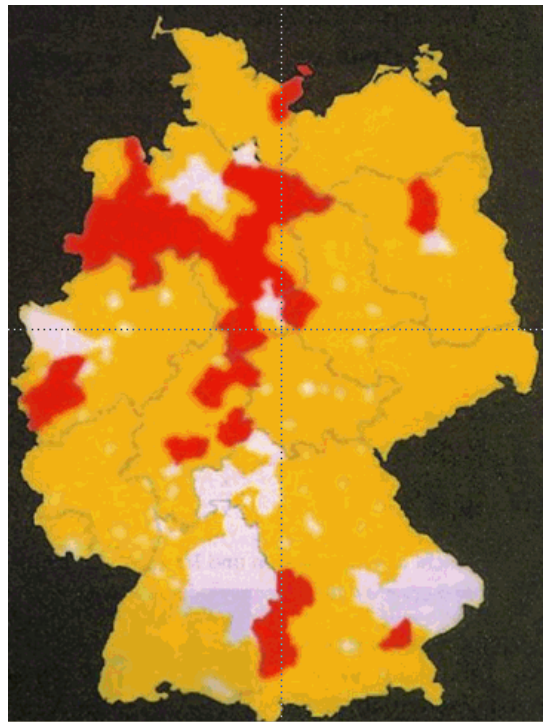
Zunächst sind diese Verluste noch nicht allzu bedeutend, aber zum reinen Ertragsverlust kommen noch weitere Schadfaktoren hinzu. So bringt ein starker Fuchsschwanzbesatz das Getreide dazu, ins Lager zu gehen. Das wiederum beeinträchtigt die Erntemenge, die Qualität des Ernteprodukts (z.B.: Kornfeuchte und Fallzahl) und damit den Ertrag. (Petersen, 2006) Ein massives Auftreten von Ackerfuchsschwanz in Getreide (Frühsaaten), aber auch bei Winterraps kann dazu führen, dass die Kulturen sich erheblich schlechter etablieren. Unterbleibt also eine frühzeitige Kontrolle im Herbst, kann das infolge unzureichender Vorwinterentwicklung der Kulturen bzw. durch reduzierte Bestockung zu deutlichen Ertragsverlusten führen; Siehe dazu Abbildung 13. Neben der Konkurrenz und Verdrängung der Kultur besteht ein möglicher weiterer Schaden in einer vermehrten Entwicklung von Getreideschaderregern an Ackerfuchsschwanzpflanzen (Petersen, 2006).



**Abbildung 13: Ertragsverluste in dt/ha in Wintergerste in Abhängigkeit der Ackerfuchsschwanzdichte; Gemeinschaftsversuche Baden- Württemberg 1997 - 1999, (Petersen, 2006)**

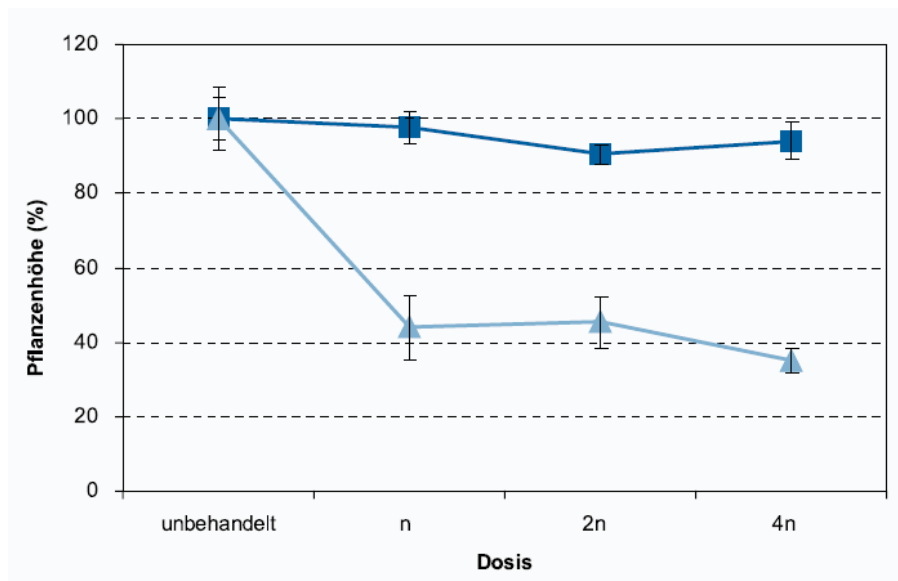
### 4.3 Resistenzen beim Windhalm

So wie beim Ackerfuchsschwanz sind mittlerweile in osteuropäischen Ländern auch massive Resistenzprobleme bei Windhalm aufgetreten. Erste Befunde über Resistenzen beim Windhalm in Deutschland sind bereits bekannt geworden (Abb. 14) (Mittnacht 2009).



**Abbildung 14: Gebiete mit Windhalmresistenz (DLG, 2003 )**

Abbildung 15 zeigt die Wuchshöhe von zwei Windhalmpopulationen fünf Wochen nach der Applikation eines Herbizides in verschiedenen Dosierungen. Hier ist zu erkennen, in wie weit die Wirkung von Herbiziden durch Resistenzen beeinflusst wird. Während die resistenzverdächtigen Pflanzen praktisch unversehrt blieben, wurde bei den sensiblen Pflanzen eine auffallende Reduktion des Wachstums festgestellt (Bohren, Mermillod & Delabays, 2006).



**Abbildung 15: Pflanzenhöhe in % der unbehandelten Kontrolle von sensiblem (▲) und von resistentem (■) Windhalm einen Monat nach der Applikation eines Sulfonylharnstoffes (68,2 % Thifensulfuronmethyl + 6,8 % Metsulfuron-methyl) mit steigender Dosierung (n = 90 g/ha); Standardfehler der Mittelwerte, (Nicolas & Delabays, 2003)**

Die Lage der neuen Resistenzentwicklungen verschärft sich bereits weiter. So sind in Südeuropa, England und Skandinavien neue Resistenzen bei Vogelmiere, Klatschmohn und Kamille aufgetreten, die möglicherweise auch für Deutschland relevant werden könnten (Mittnacht, 2009).

## **5 Lösungsstrategien**

### **5.1 Resistenzmanagement**

Der Begriff Resistenzmanagement beschreibt keine einzelne Maßnahme zur Bekämpfung des Problems, sondern fasst alle Maßnahmen, die getroffen werden, zusammen. Denn eine effektive Eindämmung von Resistenzen ist nicht durch eine singuläre Maßnahme gewährleistet, vielmehr sollten mehrere Faktoren berücksichtigt werden. Da es den „typischen“ landwirtschaftlichen Betrieb nicht gibt, muss eine Vielzahl von möglichen Lösungen zum Schutz vor Herbizidresistenzen beachtet und auf den jeweiligen Betrieb abgestimmt werden.

Alle Verfahren, die auf dem Feld stattfinden und eine Resistenzveränderung erbringen sollen, müssen exakt geplant und aufeinander abgestimmt werden. Die Umstellung der Fruchtfolge erfordert genaues Management, damit die Produktion in jedem Jahr gleich ist. Die Umstellung auf andere Herbizide und Wirkstoffe sollte genauestens dokumentiert werden, damit die Nachvollziehbarkeit gewährleistet ist.

Auch das Bearbeiten von Stilllegungsflächen kann zum Resistenzmanagement gezählt werden. Das zeitige Abmähen dieser Flächen sowie von Wegrändern ist wichtig, um die Vermehrung von Gräsern zu vermeiden. Zu dem Begriff Management gehört auch die Säuberung von Maschinen, die auf verseuchten Flächen eingesetzt worden sind. Bodenbearbeitungsgeräte oder Mähdrescher sollten stets sorgfältig gereinigt werden, um eine Ausbreitung von Gräsern, speziell resistenter Arten, zu verlangsamen (Zwerger & Ammon, 2002).

### **5.2 Bodenbearbeitung**

Bevor eine gezielte Bekämpfung von resistenten Unkräutern vorgenommen wird, sollte versucht werden, dieses Problem gar nicht erst auftreten zu lassen oder ihm gegebenenfalls sofort in den ersten Schritten des Anbauverfahrens entgegenzuwirken.

Dazu sollte schon die Bodenbearbeitung bzw. Grundbodenbearbeitung zum optimalen Zeitpunkt und mit der entsprechenden Intensität durchgeführt werden. Dabei hat die Art der Bodenbearbeitung einen entscheidenden Einfluss auf Selektion, Auflaufverhalten und Dichte der Unkräuter. Methoden der reduzierten Bodenbearbeitung begünstigen zumeist die Entwicklung bestimmter Arten, die später dominant werden (Tab.1). Dies lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass einige Arten wie z.B. Ackerfuchsschwanz nur flach unter der Bodenoberfläche und nicht aus tieferen Schichten keimen können (Tab. 2). Wenn also Unkrautsamen in tiefere Bodenschichten kommen, sinkt ihre Keimfähigkeit in den meisten Fällen signifikant. Die Keimfähigkeit von Flughafer hingegen wird von der Art der Bodenbearbeitung weniger stark beeinflusst, da dieses Ungras auch aus größeren Bodentiefen heraus auflaufen kann und seine Samen eine gute Überlebensfähigkeit besitzen (Bayer CropScience, 2003).

**Tabelle 1: Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf das Auftreten und die Dichte von Unkräutern (Pfl./m<sup>2</sup>), (Bayer CropScience, 2003)**

	Pflug				Grubber			
Jahr	'83	'84	'85	'86	'83	'84	'85	'86
<b>Unkräuter<sup>1</sup></b>								
Ackerfuchsschwanz <i>Alopecurus myosuroides</i>	1	2	29	24	3	38	347	1108
Klettenlabkraut <i>Galium aparine</i>	13	11	376	116	3	76	332	251
Vogelmiere <i>Stellaria media</i>	8	2	7	9	12	17	57	40
Persischer Ehrenpreis <i>Veronica persicaria</i>	10	3	5	3	9	1	3	17
Geruchlose Kamille <i>Matricaria inodora</i>	52	24	17	100	90	140	90	97
Stängelumfass. Taubn. <i>Lamium amplexicaule</i>	18	12	26	25	21	23	31	14
andere	23	42	63	89	12	60	132	57
Zusammen	125	96	523	366	150	355	992	1584
<b>Ertrag dt/ha</b>	<b>53.5</b>	<b>62.5</b>	<b>42.1</b>	<b>27.8</b>	<b>60.0</b>	<b>53.3</b>	<b>36.6</b>	<b>14.9</b>

**Tabelle 2: Keimfähigkeit von *Alopecurus myosuroides* (Ackerfuchsschwanz) aus unterschiedlichen Bodentiefen, (Bayer CropScience, 2003)**

Bodentiefe (cm)	Keimung %
1	60.0
2	30.5
3	7.5
4	2.0

Dementsprechend ist es erforderlich, den Boden möglichst tief zu bearbeiten, um Unkrautsamen zumindest einige Zentimeter in den Boden einzuarbeiten. Dafür bietet sich besonders die Nutzung eines Pfluges an, da dieser die obersten 20 bis 30 cm des Oberbodens komplett wendet und somit die meisten Samen ausreichend tief eingearbeitet werden. Ein Pflugverzicht fördert das Ausbreiten von z.B. Trespens, Klettenlabkraut und vor allem der resistenzgefährdeten Unkräuter Windhalm und Ackerfuchsschwanz (Petersen, 2006).

### 5.3 Aussaat

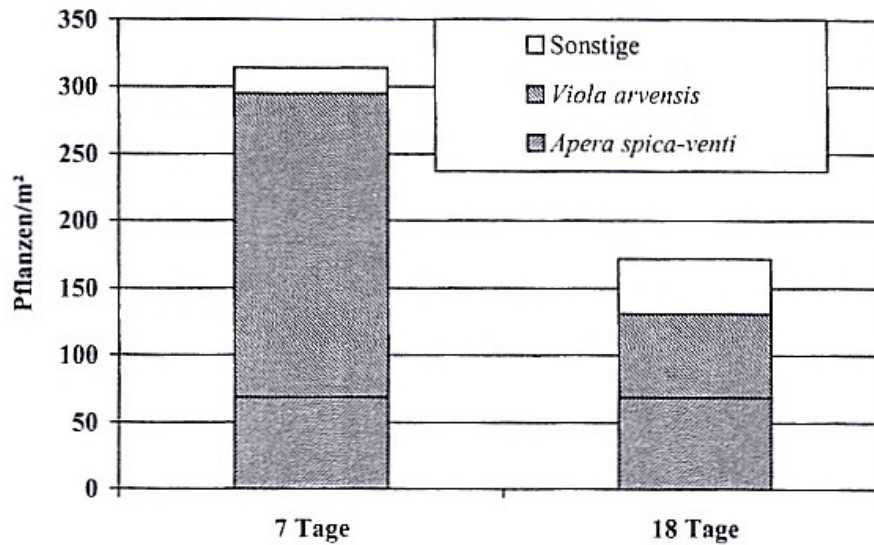
Schon bei der Aussaat ist eine frühe Bekämpfung der Unkräuter möglich und auch notwendig, denn die Wahrscheinlichkeit von Resistenzbildungen nimmt erheblich zu, je größer eine Unkrautpopulation ist. Des Weiteren kann so sehr früh auf die Verbreitung bereits resistenter Pflanzen mit mechanischen Mitteln eingewirkt werden.

Im Wesentlichen kommt es bei der Aussaat auf drei wichtige Faktoren an:

1. Der Aussaattermin sollte optimal gewählt sein. In der Regel bedeutet dies, dass eher ein späterer Termin angestrebt wird, damit die Zeit zwischen dem Pflügen und der Aussaat möglichst lang ist. In dieser Zeit können die Unkrautsamen bereits anfangen zu keimen und durch die Saatbettbereitung erfasst und eingearbeitet werden. So wird die Population an Ackerbegleitflora erheblich verkleinert. Bei früher Aussaat keimen das Unkraut und die Kulturpflanze nahezu gleichzeitig, womit eine Bekämpfung durch die Saatbettbereitung nicht erfolgen kann. In der unten angeführten Abbildung (Abb. 16) ist zu erkennen, dass sich die Anzahl an



Unkrautpflanzen im Bestand deutlich verringert hat, indem die Saatbettbereitung 18 Tage nach der Grundbodenbereitung erfolgte (Zwerger & Ammon, 2002).



**Abbildung 16: Einfluss des Zeitraums zwischen Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung auf die Verunkrautung in Wintergetreide, (Zwerger & Ammon, 2003)**

2. Zur Aussaat sollte nur Z-Saatgut (zertifiziertes Saatgut) verwendet werden. Ein Saatgut muss sehr strenge Auflagen erfüllen, um als Z-Saatgut zugelassen zu werden. Unter anderem wird schon beim Anbau darauf geachtet, dass möglichst wenig samenreife Ungräser mitgeerntet werden. Weiterhin durchläuft das Saatgut viele Reinigungsschritte, um Fremdsamen auszusäubern.

Bei Verwendung von selbst nachgebautem Saatgut ist die Verunreinigung durch Ungräsern samen erheblich größer. Sogar nach einem Reinigungsschritt ist die Qualität des Saatgutes deutlich schlechter als bei Z-Saatgut. Durch die Verwendung von eigenem Saatgut wird die Verbreitung von Unkrautsamen vermehrt. Bei Feldern, auf denen schon Resistenzen aufgetreten sind, sollte demnach vermieden werden, die Ernte als Saatgut zu verwenden, um so die Ausbreitung nicht noch zu beschleunigen (Zwerger & Ammon, 2002).

3. Als dritte Möglichkeit, eine Verunkrautung schon bei der Aussaat einzudämmen, bietet sich an, konkurrenzstarke Kultursorten anzubauen. Diese morphologisch starken Sorten können sich deutlich besser im Kampf um Licht gegen Unkräuter und Ungräser behaupten. Konkurrenzstarke Kultursorten hemmen den Wuchs der

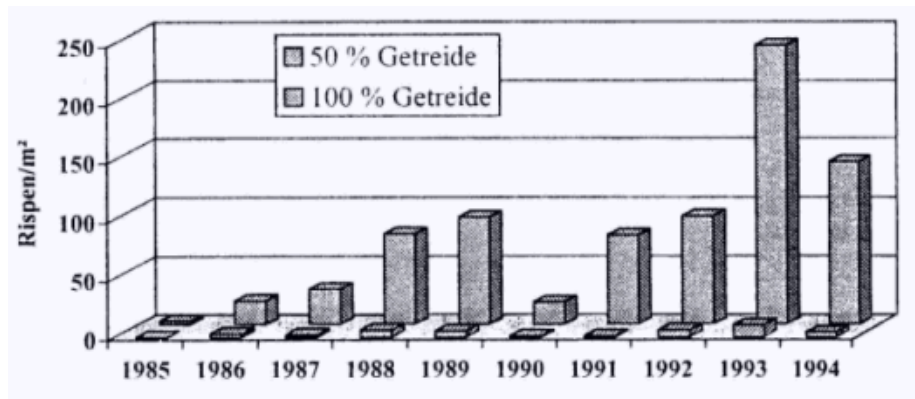
Unkräuter um 40 bis 60% mehr als konkurrenzschwache Sorten (Zwerger & Ammon, 2002).

Eine weitere, etwas unübliche Methode zur Reduzierung der Verunkrautung ist das Säen in Ost-West-Richtung. Dadurch wird der Erdboden optimal durch die Kulturpflanze beschattet und das verfügbare Licht für die Unkräuter reduziert.

## **5.4 Fruchtfolge**

Ein weiterer Punkt zur Bekämpfung der Verunkrautung und der dadurch möglichen Ausbreitung einer Resistenz betrifft den gezielten Anbau bestimmter Kulturen und der dadurch folgenden ausgewogenen Fruchtfolge. Im Allgemeinen ist festzustellen, dass sich Resistenzen dort ausbreiten, wo spezielle Ungräser wie Windhalm oder Ackerfuchsschwanz besonders gute Bedingungen vorfinden. Dabei handelt es sich um Gebiete, in denen eine ausgeprägte Form des Getreideanbaus vorherrscht. (DLG, 2003) In diesen Regionen gibt es verbreitet einen Getreideanteil in der Fruchtfolge von 75 bis 80 %.

Jede ausgewogene Fruchtfolge ergibt dagegen lückenlose gesunde, stark schattende und damit voll konkurrenzfähige Kulturpflanzen. Eine breite Fruchtfolge mit einem ständigen Wechsel zwischen Halm- und Blattfrüchten unterdrückt Unkräuter und Ungräser sehr effektiv. Bei einem Getreideanteil von 50% der Fruchtfolge und jährlichem Wechsel der Kultur wurde ein drastischer Rückgang der Unkrautrispen beobachtet, der sich auf fast 0 Pflanzen/m<sup>2</sup> beläuft. Bei 100% Getreideanteil in der Fruchtfolge liegt die Verunkrautung durch Rispen dagegen deutlich höher, im Schnitt bei ca. 75 Pfl./m<sup>2</sup> (Abb. 17) (Zwerger & Ammon, 2002).



**Abbildung 17: Einfluss des Getreideanteils in der Fruchtfolge auf die Abundanzdynamik von *Apera spica-venti*, Glaubitz 1985 - 1994. 50 % Getreide: Jährlicher Wechsel von Blattfrüchten und Getreide, 100 % Getreide: Getreidedaueranbau, (Zwerger & Ammon, 2002)**

Auch die Einbeziehung von Sommerungen in die Fruchtfolge sollte überlegt werden, da sie eine erhebliche Veränderung in bestehenden Fruchtfolgen darstellen. Somit haben es Ungräser verhältnismäßig schwerer, sich an bestimmte Kulturen anzupassen und zu spezialisieren. Ein weiterer Vorteil durch das Einbeziehen einer Sommerung ist, dass durch die Aussaat im Frühjahr nochmals eine mechanische Bodenbearbeitung stattfindet. Durch diese Saatbettbereitung werden bereits aufgelaufene Unkräuter wirksam eingearbeitet (Dierauer & Stöppler-Zimmer, 1994).

Außerdem sollte eine Fruchtfolge der jeweiligen Region angepasst werden. Das bedeutet, dass in Grenzstandorten z.B. Mittelgebirgslagen oder an sehr nassen Standorten nicht unter allen Umständen versucht werden sollte, eine bestimmte Kultur wie etwa Weizen anzubauen. Diese sind häufig nicht optimal für den Standort geeignet. Entsprechende Bestände sind zum Teil schlecht entwickelt, was wiederum das Wachstum der Unkräuter begünstigt. Diese können dann nur eingeschränkt mit Herbiziden bekämpft werden, da ihre Population verhältnismäßig groß ist. Durch den Anbau von konkurrenzstärkeren Kulturen wie z.B. Roggen geht der Besatz bei gleicher Fruchtfolge drastisch zurück (Zwerger & Ammon, 2002).

## 5.5 Integrierter Pflanzenschutz (Schadschwellenprinzip)

Das Schadschwellenprinzip ist ein Grundbaustein des integrierten Pflanzenschutzes. In der integrierten Unkrautbekämpfung wird das Ziel verfolgt, den Einsatz von

Pflanzenschutzmitteln auf ein Minimum zu reduzieren. Herbizide werden nicht prophylaktisch, sondern erst nach Überschreiten einer Schadensschwelle eingesetzt.

Hierzu wird sich der Hilfe von Schadschwellen bedient. Mit deren Hilfe bestimmt wird, ob eine Herbizidanwendung überhaupt nötig ist, da eine geringe Anzahl von Unkrautpflanzen auf jedem Feld tolerierbar ist. Sollte die Schwelle nicht erreicht sein, kann auf eine Herbizidanwendung vollständig verzichtet werden. Dies hat den Vorteil, dass jede Einsparung von Herbiziden die Wahrscheinlichkeit für eine Resistenzausbildung senkt. Die Reduzierung des Herbizideinsatzes könnte eine Möglichkeit für Betriebe sein, die schon eine erhöhte Toleranz gegenüber Herbiziden bei Unkräutern festgestellt haben, da jede weitere Anwendung eines bestimmten Wirkstoffes eine allmähliche Resistenzbildung bedeuten kann (Zwerger & Ammon, 2002).

Des Weiteren wird die Möglichkeit der mechanischen Unkrautbekämpfung im integrierten Pflanzenschutz deutlich mehr berücksichtigt. Hierbei kann z.B. durch Striegeln der Flächen Unkraut beseitigt werden. Dies ist allerdings nur in begrenztem Maße praktikierbar, da nicht alle Kulturpflanzen diesen mechanischen Eingriff ohne weiteres überstehen (Dierauer & Stöppler-Zimmer, 1994).

## **5.6 Herbizideinsatz / Herbizidwechsel**

In den obigen Abschnitten hat der Autor fast ausschließlich ackerbauliche Möglichkeiten zur Eindämmung oder Verhinderung des Auftretens von Resistenzen beschrieben; allerdings sind diese Ansätze nur bis zu einem gewissen Punkt umsetzbar.

Bei zu starker Verunkrautung des Schlages muss eine Behandlung mit Herbiziden erfolgen, dabei sollte vielmehr eine neue Strategie bei der Anwendung der Herbizide angestrebt werden. Das Gleiche gilt auch in Regionen, in denen bereits eine Resistenz bei Ungräsern festgestellt wurde oder wo es schon zu einer gestiegenen Toleranz gegenüber bestimmten Herbiziden gekommen ist.

Wenn eine Nichtanwendung von Herbiziden für den Landwirt nicht mehr in Frage kommt, sollte er die Mittel gezielt einsetzen. Die chemische Industrie hat unzählige Mittel für die verschiedensten Maßnahmen gefunden. Dieser Pool an potentiellen Präparaten und verschiedenen Wirkungsmechanismen kann voll ausgeschöpft werden. In der Praxis ist es im Allgemeinen so, dass ein Landwirt nur auf wenige Präparate setzt, die er schon die letzten Jahre benutzt hat und die sich bewährt haben. Dabei ist der Wechsel des Herbizids eine relativ einfache Maßnahme, die zur Vermeidung eines nachhaltigen Selektionsdrucks durch einen einseitigen Herbizideinsatz führt. Hierzu reicht es allerdings nicht aus, nur die Präparate oder eingesetzten Wirkstoffe regelmäßig zu wechseln. Es geht vielmehr darum, möglichst häufig einen anderen biochemischen Wirkmechanismus zu verwenden. Denn der ständige Einsatz des gleichen Wirkmechanismus und nicht nur des gleichen Präparates ist der eigentliche Selektionsdruck für die Förderung bestimmter herbizidresistenter Biotypen (Mittnacht, 2008).


International wird der Wirkmechanismus von Herbiziden mit einem Buchstabencode klassifiziert. Dabei haben Mittel bzw. Wirkstoffe mit demselben HRAC-Code (HRAC = Herbicide Resistance Action Committee) den gleichen Wirkmechanismus und Selektionsdruck in Bezug auf die Herbizidresistenz. Die unten abgebildete Tabelle (Tab. 3) zeigt den Buchstabencode und die dahinter stehenden Präparate. Damit ist es relativ einfach, innerhalb der Fruchtfolge regelmäßig Präparate mit einem anderen HRAC-Code bzw. -Buchstaben, zur Ungrasbekämpfung einzusetzen. Wenn z.B. im Raps zwingend ACCase-Hemmer (A) zur Unkrautbekämpfung eingesetzt werden müssen, kann im Winterweizen auf ALS-Hemmer (B) und in der Wintergerste auf Zellwachstumshemmer (K) ausgewichen werden. Damit käme erst alle drei Jahre wieder derselbe Wirkmechanismus zum Einsatz, was die Selektion herbizidresistenter Biotypen deutlich verringert (Gehring, 2003).

**Tabelle 3: Tabelle zur Klassifizierung und Einteilung von Spritzmitteln und deren Wirkstoffen, (Gehring, 2003)**

Wirkmechanismus *	A ACCase-Hemmer	B ALS-Hemmer	C PS-Hemmer	E PPO-Hemmer	F HPPD-Hemmer, Bleacher	G ESPS-Hemmer	K Zellwachstums- Hemmer	N Lipidsynthese- Hemmer
<b>Resistenz-Risiko</b>	Risiko der Selektion von resistenten Biotypen bei häufiger Anwendung von Präparaten mit demselben Wirkmechanismus:							
<b>Kultur</b>	<b>sehr hoch</b>	<b>mittel</b>	<b>mittel - hoch</b>	<b>sehr gering</b>	<b>sehr gering</b>	<b>sehr gering</b>	<b>gering</b>	<b>gering</b>
<b>Getreide</b>	Axial Ralon Super Topik	Atlantis Attribut Absolute M Ciral Husar Lexus Lexus Class Monitor	Arelon Azur Fenikan Herbaflex u.a. IPU-Mittel	Sumimax	Bacara	Roundup, u.a. Glyphosat-Mittel (VE)	Cadou Herold Malibu Stomp Treflan	Boxer
<b>Raps, Rüben, Kartoffel</b>	Agil Focus Ultra Fusilade Max Gallant Select Targa Super	Cato	Sencor Goltix		Racer CS Bandur	Roundup, u.a. Glyphosat-Mittel (VS-VA)	Brasan Butisan Devrinol Nimbus Kerb Spectrum Treflan	Boxer Tramat
<b>Mais</b>	Focus Ultra	Cato MaisTer Motivell Task Titus	Artett Gardo Gold Bromoterb Click Successor T		Callisto Clio Mikado Merlin	Roundup, u.a. Glyphosat-Mittel (VS-VA)	Dual Gold Spectrum Stomp Terano	
<b>Ackerbaukulturen (NE-VA)</b>						Roundup, u.a. Glyphosat-Mittel		

\*) Einstufung nach HRAC - Herbicide Resistance Action Committee

Legende:  
 ACCase = Acetyl-CoA-Carboxylase; ALS = Acetolactat-Synthase; PS = Photosystem  
 PPO = Protoporphyrinogen-Oxidase; HPPD = Hydroxyphenylpyruvat-Dioxygenase  
 ESPS = Enolpyruvylshikimat-3-Phosphat-Synthase; IPU = Isoproturon  
 VS = vor der Saat; VE = nach Abreife vor der Ernte; NE-VA = nach der Ernte bis vor dem Auflaufen der Kultur



**Bayerische Landesanstalt  
für Landwirtschaft**

**Institut für Pflanzenschutz**  
Herbologie / J. Schächl (c) 2008

In der nächsten Tabelle (Tab. 4) sind einige Präparate für die Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz aufgeführt. Die Tabelle zeigt, dass es eine breite Palette an ungefähr gleichwirksamen Mitteln gibt. Hierbei ist besonders zu beachten, dass diese alle eine unterschiedliche HRAC-Klassifizierung haben, also auch einen anderen Wirkmechanismus. Das ist der entscheidende Punkt, um den selektiven Druck auf Unkräuter zu erhöhen (Gehring, 2008).

**Tabelle 4: Mögliche Herbizide, die zur Ackerfuchsschwanzbekämpfung im Getreide zugelassen sind. Einteilung nach Wirkorten und -klassen, (Petersen, 2006)**

	Herbizide	Wirkort	HRAC – Gruppe
1	Ralon Super, Topik, Axial*	Acetyl-CoenzymA-Carboxylase-Hemmer = ACC-ase-Hemmer	A
2	Atlantis, Attribut, Lexus, Lexus class	Acetolactatsyntase-Hemmer = ALS-Hemmer	B
3	IPU, CTU*	Hemmung des Elektronentransports der Photosynthese am Photosystem II	C
4	Stomp, Treflan	Hemmung der Zellteilung	K1
5	Cadou	Hemmung der Zellteilung	K3
6	Diflufenican**	Hemmung der Carotinoidsynthese	F1
7	Boxer	Hemmung der Lipidsynthese	N

\* z.z. keine Zulassung; \*\* z. B. im Bacara oder Fenican

Nur eine sinnvolle Kombination der Wirkungsweise in der Kultur und innerhalb der Fruchtfolge trägt dazu bei, die vorhandenen Herbizide mit ihrem Wirkungspotential längerfristig zu erhalten (JKI, 2008).

## **5.7 Vergleich der Lösungsmöglichkeiten und Risikobewertung**

Abschließend folgt eine Übersicht zur Beurteilung des spezifischen Resistenzrisikos der einzelnen Lösungsansätze. Als ein Beispiel wird hier die Fruchtfolge Weizen - Raps betrachtet, es liegt ein hoher Ackerfuchsschwanzbesatz vor und bei der Bodenart handelt es sich um einen Tonboden. An diesem Praxisbeispiel wird nun das Risiko gemäß der Tabelle zur Herbizidresistenzentwicklung (Tab. 5) ermittelt und bewertet.

Die Fruchtfolgegestaltung birgt, da nur zwei Kulturen angebaut werden, ein erhöhtes Risiko. Die Bodenbearbeitung ist mit etwa mittlerem Risiko einzustufen, da aus der Praxiserfahrung heraus eine konservierende Bodenbearbeitung mit fakultativem Pflugeinsatz durchgeführt wird. Der Unkrautbesatz ist aber durch Ackerfuchsschwanz hoch und stellt damit wieder ein erhöhtes Risiko dar. Wird weiter davon ausgegangen, dass, wie für die Praxis üblich, eine rein chemische, sehr intensive Unkrautbekämpfung mit nur einem Wirkmechanismus mehrmals im Jahr zum Einsatz kommt, ist das Risiko der Resistenzbildung erheblich gesteigert. Wenn außerdem die Resistenz bei vorhandenen Leitunkräutern und die regelmäßige, nicht mehr ausreichende Bekämpfungsleistung in den letzten Jahren bekannt ist, wird das Risiko einer weiteren Resistenzausbreitung enorm hoch (Tab. 5) (Gehring, 2003).

Das Gesamtrisiko dieses Anbauverfahrens ist erhöht, folglich sollten Lösungsstrategien zur Resistenzminimierung oder -eindämmung gewählt werden, die im Risikobereich „niedrig“ bis „mittel“ liegen.

**Tabelle 5: Herbizidresistenz -Beurteilung des spezifischen Risikos, (Gehring, 2003)**

Faktorgruppe	Risiko:		
	niedrig	mittel	hoch
Fruchtfolge	vielgestaltig, mit Wechsel zwischen Sommerung und Winterung	eingeschränkt, vorwiegend Winterungen	kein Fruchtwechsel, und/oder nur Winterungen
Bodenbearbeitung	konventionell, mit Pflugeinsatz	konservierend mit fakultativen Pflugeinsatz	minimal, ohne Pflug bis zur Direktsaat
Unkrautbesatz	niedrig	mittel	hoch
Unkrautbekämpfung	chemisch und mechanisch	vorwiegend chemisch, mit standortspezifischer Intensität	rein chemisch, mit hoher Intensität
Herbizideinsatz in Mischungen, oder bei Spritzfolgen	mit mehr als 2 unterschiedlichen Wirkungsmechanismen	mit 2 unterschiedlichen Wirkungsmechanismen	mit nur 1 Wirkungsmechanismus
Anwendung von Herbiziden mit demselben Wirkmechanismus	erst nach 2 Jahren	im jährlichen Wechsel	mehrmals im Jahr
Resistenzen bei vorhandenen Leitunkräutern bekannt	nein	selten	häufig
Bekämpfungsleistung in den letzten Jahren	erfolgreich bzw. wie zu erwarten	abnehmend	regelmäßig nicht mehr ausreichend



## 6 Schlussfolgerung

Unkräuter sind für ca. 10% der weltweiten Ertragsausfälle verantwortlich, was einen erheblichen Verlust am Gesamtertrag ausmacht. Damit die Flächennutzung effektiv bleibt und die Bevölkerung mit ausreichend Nahrung versorgt werden kann, müssen die Kulturpflanzenenerträge pro Hektar möglichst hoch sein. Um also den Begrenzungsfaktor „Unkraut“ einzudämmen, ist die Notwendigkeit der Bekämpfung der unerwünschten Ackerbegleitflora in Kulturbeständen durch Herbizide gegeben.

Diese Herbizideinsätze haben allerdings zur Folge, dass, wie in Kapitel 4 „Aktuelle Situation der Herbizidresistenz“ beschrieben, die Problematik der Resistenzentwicklung bei Unkräutern zunimmt. Die Resistenzen haben sich in den letzten 10 bis 15 Jahren vom rein theoretischen zu einem großen praktischen Problem entwickelt. In der Landwirtschaft - einschließlich der vor- und nachgelagerten Bereiche - wird eine Auseinandersetzung mit vermehrten Resistenzen erfolgen müssen. So ist in der Arbeit gezeigt worden, dass bei zwei der bedeutendsten Ungräser (Ackerfuchsschwanz und Windhalm) in Deutschland schon erhebliche Wirkungsverluste gegenüber einigen Wirkstoffen aufgetreten sind. Die Ackerfuchsschwanzresistenz hat zum Beispiel schon in einigen Gebieten Norddeutschlands flächendeckende Ausmaße angenommen.

Daher ist es nach Auffassung des Autors notwendig, sich mit dem Thema intensiver auseinander zusetzen. Dies betrifft vor allem die Landwirte, die sich ihrer Verantwortung beim Umgang mit Herbiziden bewusst werden müssen. Der Begriff Nachhaltigkeit ist hierbei der zentrale Punkt, denn in der Landwirtschaft ist es besonders wichtig, die Flächen ertragsstark zu halten und mögliche Probleme nicht auf Kosten der nächsten Generationen in Kauf zu nehmen.

Wie im ersten Kapitel erläutert, bewirtschaftet die Familie des Autors einen Ackerbaubetrieb. Dem entsprechend wurde sich mit dem Thema auseinander gesetzt und festgestellt, dass sich einige Lösungsansätze relativ einfach in den Produktionsablauf integrieren lassen. Vor allem die verlängerte Zeit zwischen Pflügen und der Aussaat ist eine einfache und praktikable Lösung, um die Unkrautpopulation einzuschränken. Des Weiteren wird eine Verwendung von unterschiedlichen Herbiziden in Getreide, z.B. bei Gerste und Weizen, schon seit Jahren erfolgreich praktiziert.

Allerdings besteht nicht nur bei den Landwirten Handlungsbedarf. Die Forschung muss ebenfalls in die Pflicht genommen werden, um neue Möglichkeiten zur Bekämpfung von Unkräutern zu entwickeln. Nach neuen Wirkmechanismen sollte verstärkt geforscht werden, um die Pflanzen mit neuen Wirkorten und -stoffen zu konfrontieren.

Ein weiterer Punkt, der nun hinzugekommen ist, ist das Auslaufen der Zulassungen von vielen Pflanzenschutzmitteln durch die Europäische Union. Diese hat vielen Präparaten eine weitere Zulassung in den folgenden Jahren verwehrt. Dadurch schränkt sich das Angebot der Herbizide erheblich ein. Landwirte und Forschung sind gleichermaßen gefordert, um dieser neuen Situation entgegen treten zu können. Allerdings muss auch die Beratung seitens der Behörden und Verbände ausgebaut werden, um Landwirte richtig beraten zu können.

## 7 Zusammenfassung

Zu Beginn der Arbeit werden die allgemeinen Grundlagen vorgestellt. Dazu gehören u.a. folgende Begriffe:

- „Unkraut“: Unkräuter sind Pflanzen, die mit einer gezielt angebauten Nutzpflanze in Konkurrenz um Wachstumsfaktoren stehen, die Bewirtschaftung und Nutzung von Flächen behindern oder erschweren.
- „Herbizid“: Herbizide sind chemische Pflanzenschutzmittel, die Unkräuter in ihrem Ausmaß begrenzen.
- „Herbizidresistenzen“: Da Pflanzen auf Umweltbedingungen mit Anpassungen reagieren, entstehen aus der Anwendung von Herbiziden Resistenzen der Unkräuter. Diese Resistenzen können sich von einzelnen Pflanzen zu ganzen resistenten Populationen entwickeln. Dafür sind verschiedene Faktoren der Resistenzdynamik (biologische und produktionstechnische) ausschlaggebend.  
Die Resistenz von Pflanzen kann von verschiedenen Mechanismen (Kreuzresistenz, Mehrfachresistenz, metabolische Resistenz und die Wirkortresistenz) ausgehen.

Es folgt ein Abschnitt über die wichtigsten Herbizide mit den verschiedensten Wirkungsmechanismen. Dazu zählen die Hemmung der Photosynthese, der Aminosäurebildung und der Fettsäuresynthese. Allgemein sind viele der Herbizidmechanismen darauf zurückzuführen, dass sich ein Wirkstoff an ein Protein (häufig ein Enzym) bindet, wodurch ein für die Pflanze notwendiger Stoffwechselprozess gestört wird. Es können aber auch strukturelle und regulatorische Bindestellen gehemmt werden.

Zur aktuellen Situation der Herbizidresistenz von Unkräutern wird gesagt, dass sich in den letzten 10 bis 15 Jahren die Situation dramatisch verändert hat. Besonders Resistenzen von Ackerfuchsschwanz und Windhalm haben erheblich zugenommen.

Um Resistenzen zu verhindern oder deren Verbreitung einzudämmen, existieren die unterschiedlichsten Möglichkeiten. Diese werden im letzten Teil der Arbeit als Lösungsstrategien für die Praxis dargestellt. Allerdings ist der Handlungs-, Forschungs- und Entwicklungsbedarf groß, um das Problem der Resistenzen dauerhaft einzudämmen.

Folgende Lösungsstrategien sind aufgeführt worden:

- **Bodenbearbeitung:** Diese hat einen entscheidenden Einfluss auf Selektion, Auflaufverhalten und Dichte der Unkräuter. So begünstigen Methoden der reduzierten Bodenbearbeitung zumeist die Entwicklung bestimmter Unkrautarten.
- **Aussaat:** Die Aussaat beinhaltet den Aussaattermin, Z-Saatgut und konkurrenzstarke Sorten. Dabei lässt ein später Aussaattermin eine Vielzahl von Unkrautsamen bereits vor der Aussaat keimen. Diese können dann durch die Saatbettbereitung eingearbeitet und abgetötet werden. Z-Saatgut hat einen besonders hohen Reinheitsstandard (geringer Anteil an Unkrautsamen) und konkurrenzstarke Kulturen unterdrücken Unkräuter schon während des Auflaufens.
- **Herbizideinsatz/ Herbizidwechsel:** Durch Wechseln der Herbizide können sich Unkräuter weniger schnell an die chemischen Substanzen adaptieren und Resistenzen ausbilden.
- **Fruchtfolge:** Eine „ausgewogene“ Fruchtfolge mit einem jährlichen Wechsel zwischen Halm- und Blattfrüchten unterdrückt Unkräuter und Ungräser sehr effektiv.
- **Integrierter Pflanzenschutz:** Das Ziel des Integrierten Pflanzenschutzes liegt darin, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren. Herbizide werden nicht prophylaktisch, sondern erst nach Überschreiten einer Schadensschwelle eingesetzt.

## 8 Literaturverzeichnis

- Bayer Crop Science: „Moderne Strategien für eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung, Möglichkeiten und Vorgehensweisen für ein integriertes Unkrautmanagement.“, Erste Ausgabe, Bayer Crop Science Deutschland GmbH, Januar 2004
- Bayer Crop Science: Resistenzen bei der Bekämpfung von Unkräutern im Getreideanbau: Ein Problem mit wachsendem Potenzial, KURIER 2/06, Bayer Crop Science Deutschland GmbH
- Bayer Crop Science: So wirken Herbizide, 2/08 KURIER, das Bayer Crop Science Magazin für moderne Landwirtschaft, Bayer Crop Science Deutschland GmbH
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz), Braunschweig, <http://www.bmelv-forschung.de/fileadmin/sites/FR-Texte/1997/fr-1997-1-10-Herbologie.pdf>, besucht am 25.2.09
- Bohren, Ch., G. Mermillod & N. Delabays, 2006: Pflanzen: Erstmals Resistenz gegen Sylfonylharnstoffe in der Schweiz bestätigt, *AGRAR Forschung* 13 (3): 120-125, Agroscope Changins-Wädenswil (ACW)
- BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit), 2007: Pflanzenschutzmittelverzeichnis Teil 1, Ackerbau - Wiesen und Weiden Hopfenbau - Nichtkulturland, 55. Auflage
- Dierauer, H. - U., H. Stöppler-Zimmer 1994: Unkrautregulierung ohne Chemie, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft), 2003: DLG Mitteilung 01/2003
- Gehring, K., 2008: Aktuelle Probleme der Unkrautbekämpfung, insbesondere Resistenzbildung und Neophyten, Landshuter Pflanzenschutz Seminar Edenland / Seyboldsdorf, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Institut für Pflanzenschutz
- Gehring, K., 2003: Unkrautbekämpfung im Getreidebau, Institut für Pflanzenschutz der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan, [http://www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/06720/linkurl\\_0\\_53.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/06720/linkurl_0_53.pdf), besucht am 25.2.09

- Hallmann, J., A. Quadt - Hallmann, A. von Tiedemann, 2007: Phytomedizin, Grundwissen Bachelor, Ulmer Verlag
- Heitefuss, R. 2000: Pflanzenschutz - Grundlagen der praktischen Phytomedizin, Thieme Verlag, Stuttgart, 3. überarbeitete Auflage
- Hock, B., 1995: Schadwirkungen auf Pflanzen, Spektrum Heidelberg, 3. Auflage
- Hock, B., C. Fedtke, R. R. Schmidt, 1995: Herbizide. Entwicklung, Anwendung, Wirkungen, Nebenwirkungen, Themen Verlag, Stuttgart
- Hoffmann, M., B. Geier (Hrsg.), 1987: Beinkrautregulierung statt Unkrautbekämpfung - Methoden der mechanischen und thermischen Regulierung, Schriftenreihe Alternative Konzepte 58, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe
- Holzner, W., J. Glauninger, 2005: Ackerunkräuter: Bestimmung, Biologie, landwirtschaftliche Bedeutung, Stocker Verlag, Graz – Stuttgart
- Jens, anonymus, 2002: Universität Halle: <http://www2.biologie.uni-halle.de/genet/plant/staff/koebnik/teaching/biotech/herbicide/herbicide.pdf>, besucht am 14.5.08
- JKI (Julius Kühn-Institut), 2008: [http://www.jki.bund.de/nr\\_805044/DE/veroeff/popwiss/pdfs/Ackerfuchsschwanz,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Ackerfuchsschwanz.pdf](http://www.jki.bund.de/nr_805044/DE/veroeff/popwiss/pdfs/Ackerfuchsschwanz,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Ackerfuchsschwanz.pdf), besucht am 11.3.09
- Koch, Dr. W., 1970: Unkrautbekämpfung, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- Koch, Dr. W., K. Harle, 1970: Grundlagen der Unkrautbekämpfung, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- Maier, J., 2008: Herbizidresistenz - Dichtung und Wahrheit?, dzz NR. 2, Südzucker AG, Rübenabteilung Offenau
- Mittnacht, Dr. A., 2007: Landinfo 6/2007, RP Stuttgart, [http://www.landwirtschaft-mmr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1214497/landinfo\\_Herbizidresistenz%20bei%20Ungr%E4sern%20im%20Ackerbau.pdf](http://www.landwirtschaft-mmr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1214497/landinfo_Herbizidresistenz%20bei%20Ungr%E4sern%20im%20Ackerbau.pdf), besucht am 25.2.09
- Mittnacht, Dr. A., 2008: Moderne Anbausysteme, Neue Pflanzenschutzprobleme – Lösungsansätze Herbizidresistenz bei Ungräsern – Ursachen und Resistenzvorsorge, 55. Baden-Württembergischer Pflanzenschutztag, 13. Februar 2008 in Ilshofen, Regierungspräsidium Stuttgart

- Neururer, Dr. h., W. Herwirsch, 1990: Unkräuter im Feld-, Obst-, Wein- und Gartenbau sowie auf Grünland, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 2. Auflage
- Petersen, Prof. Dr. J., 2006: Ackerfuchsschwanz-Bekämpfung Wie kann ein Wirkstoffmanagement aussehen, Sonderausdruck aus „Getreidemagazin 1 / 2006, FH Bingen
- Radosevich, S., R., J. S. Holt, C. M. Ghera, 2007: Ecology of Weeds and invasive Plants – Relationship to Agriculture and Natural Resource Management, Wiley - Interscience, 3. Auflage
- Syngenta Deutschland, [www.syngenta.de](http://www.syngenta.de), besucht am 14.5.08
- Zwerger, P., 1997: Unkräuter - Pflanzen mit zwei Seiten, Forschungsreport 1/1997, Braunschweig
- Zwerger, P., 2002: Unkraut - Ökologie und Bekämpfung, Ulmer Verlag, Stuttgart – Hohenheim

## **9 Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung verwendet.

Gießen, den 13.3.2009

Theodor Hemmerde